

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-234**  
 (22) Přihlášeno: **27.04.2017**  
 (40) Zveřejněno: **07.11.2018**  
**(Věstník č. 45/2018)**  
 (47) Uděleno: **26.09.2018**  
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **07.11.2018**  
**(Věstník č. 45/2018)**

(56) Relevantní dokumenty:

Hiroaki Nakao: Thin-disk lasers based on Yb<sup>3+</sup>-doped ceramics, Department of Engineering Science Graduate School of Informatics and Engineering University of Electro-Communications, March 2015.; Jochen Speiser: History, principles and prospects of thin-disk lasers, German Aerospace Center Institute of Technical Physics, 27.08.2014; Birgit Weichelt, Martin Rumpel, Andreas Voss, Andreas Gross, Volker Wesemann, Daniel Rytz, Marwan Abdou Ahmed, Thomas Graf: Yb:YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> as gain material in thin-disk oscillators: demonstration of 109 W of IR output power, Optics Express, Vol. 21, Issue 22, pp. 25708-25714, 2013, <https://doi.org/10.1364/OE.21.025708>; Robert Jung, Johannes Tümmmler, Ingo Will: Regenerative thin-disk amplifier for 300 mJ pulse energy, Optics Express, Vol. 24, Issue 2, pp. 883-887 2016, <https://doi.org/10.1364/OE.24.000883>.  
 JP H01260877 A; US 2006182154 A; US 4730105 A; DE 102008021791 A.

(73) Majitel patentu:  
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8 Libeň, CZ

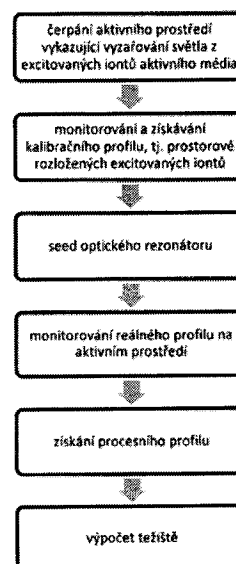
(72) Původce:  
Robert Boge, Ph.D., Dolní Břežany, CZ  
Bc. Jakub Horáček, Dolní Břežany, CZ  
Jack Alexander Naylor, Dr., Dolní Břežany, CZ  
Ing. Václav Šobr, Dolní Břežany, CZ

(74) Zástupce:  
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i./CITT, Karel Bauer,  
Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany

(54) Název vynálezu:  
**Způsob a systém polohování svazku a  
aktivní stabilizace polohy svazku**

(57) Anotace:  
Vynález se týká způsobu a systému stabilizace polohy svazku (11). Podle jednoho aspektu vynálezu tato metoda slouží pro měření stabilizace polohy svazku (11) uvnitř optického rezonátoru, s výhodou pro laserový zesilovač nebo laserový oscilátor. Podle dalšího aspektu tohoto vynálezu metoda poskytuje aktivní stabilizaci polohy paprsku (11) uvnitř optického rezonátoru. Předkládaný vynález také popisuje systém, který využívá způsob měření a stabilizace polohy svazku (11). Způsob měření stability polohy svazku (11) uvnitř optického rezonátoru zahrnuje kroky: čerpání aktivního prostředí (7), přičemž aktivní prostředí (7) emituje světlo na 2D senzor (8); monitorování prostorového rozložení excitovaných iontů z aktivního prostředí (7) a získání kalibračního profilu (1), přičemž profil (1) je získán bez seedingu optického rezonátoru, dále zahrnuje seeding optického rezonátoru: monitorování reálného profilu (3) čerpání inverzních stavů na aktivním prostředí (7) pomocí detekčního prostředku (8); získání procesního profilu (4) na základě rozdílu

mezi kalibračním profilem (1) a reálným profilem (3); a výpočet polohy těžiště (6) z procesního profilu (4). Způsob aktivní stabilizace polohy svazku (11) dále zahrnuje krok upravení polohy svazku (11) podle dříve vypočítané polohy těžiště (6).



## Způsob a systém polohování svazku a aktivní stabilizace polohy svazku

### Oblast techniky

5

Předkládaný vynález se týká způsobu a systému stabilizace polohy svazku. V jistém provedení vynálezu může níže popsaný způsob sloužit k měření stability polohy svazku uvnitř optického rezonátoru, např. v laserovém zesilovači nebo v laserovém oscilátoru. Podle dalšího provedení tohoto vynálezu může způsob sloužit k aktivní stabilizaci polohy svazku uvnitř optického rezonátoru, zejména v laserovém zesilovači nebo v laserovém oscilátoru. Předkládaný vynález se také týká systému využívající způsob měření a stabilizace polohy svazku.

10

### Dosavadní stav techniky

15

V mnoha laserových aplikacích je nutné kontrolovat směr šíření výstupního svazku co možná nejpřesněji. Z toho důvodu je aktuální vývoj přesné metody a systému měření polohy svazku a jeho aktivní stabilizace středem zájmu mnoha průmyslových odvětví.

20 Výstupní směr optického svazku, např. laserového paprsku, podléhá kolísání (fluktuacím) ovlivňující jeho směr. Kolísání může být způsobeno například mechanickými vibracemi, posunem nebo tepelnými vlivy.

25 Tepelné vlivy jako jsou např. změny vnější teploty nebo vnitřní termalizace, rovněž nepřímo způsobují změny v poloze optického svazku.

30 Norma ISO 11670 poskytuje obecné zásady pro měření parametrů laserového svazku. Tato norma dále definuje pojmy, které odkazují na stabilizaci polohování svazku, zejména s ohledem na geometrii svazku. V této patentové přihlášce je terminologie přejata z výše uvedeného ISO dokumentu.

Kromě požadavků normy ISO 11670 existují také obecné požadavky na konstrukci laserového systému pro optimální stabilitu polohy svazku, které musí být vzaty v úvahu. Jsou to:

- 35 - Mechanické vibrace zrcátek umístěných v optických rezonátorech, které by měly být minimalizovány se stabilním nastavením a případně by měly být mechanicky odděleny od země. Mechanickými vibracemi také mohou být akustické jevy, které musí být izolovány.
- 40 - Dlouhodobé posuny tepelného původu by měly být rovněž minimalizovány. U laserů s vysokým výkonem se musí zejména zabránit tomu, aby parazitní paprsky nezasahovaly do držáků zrcadel umístěných v optickém rezonátoru.
- Optický rezonátor by měl být navržena tak, aby byla optimalizována pro minimální citlivost na vyrovnání.

45 Tradičně, metoda polohové stability svazku a příslušný systém sleduje polohu svazku na základě úniku svazku ze zrcadla, ať už uvnitř nebo vně optického rezonátoru. Avšak, k použití této metody a systému je před měřením požadována dlouhodobá tepelná rovnováha. Doba potřebná k dosažení tepelné rovnováhy je obvykle více než několik hodin. Kromě toho musí být zkušební zařízení také v tepelné rovnováze s optickým zařízením. Po počáteční přípravě se apertura, která snižuje výstupní signál, zavede do dráhy paprsku, obvykle před každou optickou komponentou.

50

Tento technický problém byl již částečně vyřešen paralelními technickými řešeními popsanými v následujících dokumentech:

55 US 4144505 popisuje způsob a systém pro automatické vyrovnání, zvláště vhodný pro vysoce výkonové lasery. Systém automatického zarovnávání je navržen tak, aby prováděl dvě

vyrovnávací úlohy, udržování stability v polohování výstupního svaku v kontrolním režimu optického rezonátoru s přesným nastavením orientace koncových zrcadel a dvou otočných zrcadel. Přesný systém a metoda automatického zarovnání je dosaženo díky rozdělení dopadajícího paprsku na dva samostatné paralelní paprsky. Pro stanovení stability polohování paprsku je zapotřebí kompenzace výše uvedených dvou oddělených paprsků. Nevýhodou tohoto technického řešení je složitost elektronického obvodu a zařízení připojených k laserovým komponentám.

Dokument US 20080170597 popisuje způsob seedingu a stabilizace optického zařízení, zejména laserového rezonátoru pro kontinuální lasery. Způsob zahrnuje zpětnovazební signál z výstupu optického zařízení a nastavení vlnové délky signálu seedu pro udržení stabilní operace základny optického zařízení na signálu zpětné vazby. Hlavní nevýhodou tohoto technického řešení je omezení vlnové délky seedu.

Dokument US 20130120820 popisuje zařízení pro ovládání polohy svazku a měření polohování. V tomto zařízení je optický svazek řízen kontrolní jednotkou ovládající zařízení. Hlavní nevýhodou tohoto technického řešení je rozdělení optického svazku, které navíc vyžaduje alespoň dvojnásobný počet optických komponent.

Podle výše uvedených technických řešení musí být nepřetržitě sledován alespoň jeden "referenční" profil („referenční osa“, „referenční rovina“).

Technický problém, jehož řešení je dále popsáno v podstatě vynálezu, spočívá v nalezení metody stabilizace polohy svazku a příslušného systému pro optický rezonátor, kde metoda a systém by měly být řešením bez systémových nejistot, zejména pak pro mechanické vibrace, včetně akustických vibrací. Technické řešení by mělo kompenzovat rovněž tepelné účinky, vnější a/nebo vnitřní, jako je např. teplotní kolísání v laboratoři a/nebo vnitřní zahřívání. Dále, je potřeba najít metodu monitorování polohy svazku, a to okamžitě, jakmile se laserový systém zapne a laserový svazek je extrahován z aktivního prostředí.

Pro lepší porozumění, termín aktivní stabilizace znamená použití zpětnovazební smyčky v průmyslové aplikaci, která ovlivňuje výstup systému.

Za dokumenty popisující nejbližší stav techniky lze považovat Birgit Weichelt, et al. : Yb:YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> as gain material in thin-disk oscillators: demonstration of 109 W of IR output power, Optics Express, Vol.21, Issue 22, p.25708-25714, 2013; a Robert Jung, Johannes Tümmeler, Ingo Will: Regenerative thin-disk amplifier for 300 mJ pulse energy, Optics Express, Vol. 24, Issue 2, pp. 883-887 2016

#### 40 Podstata vynálezu

Předkládaný vynález překonává výše uvedené nevýhody a současně řeší problém stabilizace polohy svazku a měření stability polohy svazku, přičemž minimalizuje systematické nejistoty systému, zejména kolísání výkonu.

Toto je možné díky způsobu sledování polohy svazku přímo v optickém rezonátoru na samotném aktivním prostředí a systému, který tento způsob využívá.

50 V jistém provedení vynálezu může níže uvedený způsob sloužit ke sledování polohy svazku v optickém rezonátoru. Způsob, podle vynálezu, může být dále využitý pro aktivní stabilizaci polohy svazku uvnitř optického rezonátoru, zejména v laserovém zesilovači nebo oscilátoru.

55 V dalším provedení poskytuje předložený vynález způsob měření stability polohy svazku uvnitř optického rezonátoru. Tento způsob zahrnuje kroky:

- a. čerpání aktivního prostředí, přičemž aktivní prostředí emituje světlo na 2D senzor;
- b. monitorování prostorového rozložení excitovaných iontů v zářicím aktivním prostředí, přičemž se snímá kalibrační profil z jeho čelního povrchu, a přičemž seeding optického rezonátoru (EN: seeding of optical resonator) je neaktivní;
- 5 c. seeding optického rezonátoru;
- d. monitorování reálného profilu vyprázdněných inverzních stavů na aktivním prostředí pomocí 2D senzoru;
- e. získání procesního profilu založeného na rozdílu mezi kalibračním profilem a reálným profilem;
- 10 f. výpočet těžiště z procesního profilu.

Je třeba poznamenat, že termínem profil se rozumí například obraz nebo sekvence dat uložených a/nebo zpracovaných v databázi nebo v počítačovém programu.

- 15 Výše uvedený způsob poskytuje přesnější měření díky výpočtu polohy těžiště určené na základě procesního profilu, zejména při čerpání aktivního prostředí, kdy excitované ionty emitují světlo. Toto světlo je detekováno 2D senzorem a tvoří tzv. kalibrační profil.

20 Monitorováním kalibračního profilu na zářicím aktivním prostředí poskytuje informaci o prostorovém rozložení excitovaných iontů bez seedingu optického rezonátoru, tj. kdy seeding optického rezonátoru není aktivní. Obraz prostorového rozložení excitovaných iontů odpovídá inverzním stavům v aktivním prostředí.

25 V dalším kroku je laserový svazek extrahován z aktivního prostředí při seedingu optického rezonátoru. Seeding optického rezonátoru vede k extrakci energie z aktivního prostředí, což způsobuje zónu (se projevuje jako zóna) čerpání inverzních stavů.

30 Monitorování zóny čerpání inverzní stavů uvnitř aktivního prostředí pomocí 2D senzoru poskytuje tzv. reálný profil. Překryv mezi kalibračním profilem a reálným profilem odpovídá skutečné poloze aktivního prostředí. Tudíž, na základě rozdílu výše uvedených profilů, kalibračního a reálného profilu, lze získat procesní profil, který je citlivý na výše uvedené nejistoty, zejména pak na polohu aktivního prostředí, která hraje klíčovou roli při stabilizaci polohy svazku.

35 Na základě procesního profilu je možné vypočítat polohu těžiště. V jednom provedení může být výpočet těžiště podle normy ISO 11146. V dalším provedení může být poloha těžiště vypočtená na základě výpočetního programu zpracovávající data z procesního profilu.

40 Podle dalšího provedení způsobu může být kalibrační profil, tj. monitorovaný profil, u kterého nedochází k seedingu optického rezonátoru, získán při sníženém čerpacím výkonu. Pod termínem sníženým čerpacím výkonem se rozumí nižší výkon přiváděný do aktivního prostředí ve srovnání s čerpacím výkonem aktivního prostředí, který je zapotřebí k zesílení svazku v optickém rezonátoru. Technickým přínosem získání kalibračního profilu při nižším výkonu čerpadla je ochrana aktivního média před nadměrným tepelným namáháním.

45 Podle dalšího provedení vynálezu mohou být světelné jevy, monitorované 2D senzorem, luminescence, zejména fluorescence; nebo konverze fotonu; nebo jakákoli stimulovaná emise záření pomocí leptonové nebo hadronové excitace.

50 Mimo jiné tento způsob přináší další technické výhody, zejména pak účinné sledování polohy svazku, protože kalibrační profil, což je profil získaný bez seedingu optického rezonátoru, se musí získat právě jednou. Tento profil slouží jako kalibrace (podle terminologie ISO 11670) a může být uložen v paměti počítače. Monitorování reálného profilu je průběžné a procesní profil lze získat z výpočtu rozdílů mezi uloženým kalibračním profilem a průběžně sledovaným reálným profilem.

55

Podle výše uvedeného způsobu, vynález přináší další technickou výhodu. Při výkonech nad 100 W se čerpací bod (EN: pump spot) stává mírně jasnější a tudíž čerpání inverzních stavů se stává výraznější. Způsob podle vynálezu může být také aplikován o této velikosti výkonu a vede k jasnějšímu určení distribuce intenzit a následného umístění těžiště svazku.

Díky výše zmíněným technickým účinkům se výrazně zvyšuje krátkodobá i dlouhodobá stabilita, což umožňuje dlouhodobý provoz začínající přímo od studeného startu (EN: cold start) laserového systému bez potřeby termalizace a ručního nastavení.

Podle jednoho provedení vynálezu může být aktivním prostředím aktivní laserové médium, které slouží ke kompenzaci ztrát v laserovém rezonátoru.

V dalším provedení vynálezu, aktivní prostředí může být tenký disk, přičemž termínem "tenkého disku" se rozumí disk, jehož tloušťka je podstatně menší než průměr laserového paprsku. Dalším výhodným provedením může být laserový slab, laserový krystal, vláknové optické sklo, keramické zesilovací médium, kapalně laserové médium nebo plynové laserové médium.

Podle příslušných provedení vynálezu může být aktivní prostředí čerpáno opticky, elektricky, chemicky nebo díky jaderné reakci (reakcím).

V dalším provedení může být 2D senzorem jakékoli zařízení s prostorovým rozlišením v příslušném spektrálním rozsahu, s výhodou CCD kamera nebo CMOS kamera.

Podle jistého provedení vynálezu se poloha těžiště vypočítá podle ISO 11146 za použití počítačové jednotky.

Podle dalšího ohledu, předložený vynález poskytuje způsob stabilizace polohy svazku uvnitř optického rezonátoru zahrnující kroky:

- a. čerpání aktivního prostředí, přičemž aktivní prostředí emituje světlo na 2D senzor;
- b. monitorování prostorového rozložení excitovaných iontů v zářicím aktivním prostředí, přičemž se snímá kalibrační profil z jeho čelního profilu, a přičemž seeding optického rezonátoru (EN: seeding of optical resonator) není aktivní;
- c. seeding optického rezonátoru;
- d. monitorování reálného profilu vyprázdněných inverzních stavů na aktivním prostředí pomocí 2D senzoru;
- e. získání procesního profilu založeného na rozdílu mezi kalibračním profilem a reálným profilem;
- f. výpočet těžiště z procesního profilu;
- g. poloha svazku (11) se nastaví pomocí zpětnovazebné smyčky.

Kroky a - f jsou naprosto identické jako u měření polohy svazku. Krok stabilizace g) zajišťuje úpravu paprsku podle vypočtené polohy těžiště podle kroku f).

Podle jednoho provedení může být nastavení polohy svazku zajištěno pohyblivým zrcadlem. Ve výhodném provedení může být pohyblivým zrcadlem piezo-poháněné (EN: piezo-actuated) zrcadlo.

V jednom, výhodném, provedení jsou pro výpočet polohy těžiště zapotřebí pouze čtyři body určené na základě procesního profilu. Obecně, 2D senzor potřebuje nějaké prostorové rozlišení, avšak matice s alespoň 4 body 2D senzoru stačí k získání dostatečného množství dat pro poskytnutí způsobu podle vynálezu. Matice 4 bodů na 2D senzoru výsledně poskytuje dostatečné informace o profilech a tedy o poloze aktivního média, zatímco požadavky na 2D senzor jsou podstatně nižší.

Na druhé straně kamera s vyšším rozlišením přináší lepší výsledky.

5 V jednom provedení, způsob stabilizace polohování svazku uvnitř optického rezonátoru dále obsahuje zpětnovazebnou smyčku, kde výpočet těžiště ovlivňuje polohu pohyblivého zrcadla a tím koriguje polohu svazku.

Podle dalšího provedení vynálezu může být reálný profil použit pro sledování polohy aktivního prostředí a/nebo aktivní stabilizace svazku.

10 V dalším provedení vynálezu může být vytvořen systém pro stabilizaci polohování svazku uvnitř optického rezonátoru, který obsahuje:

- aktivní prostředí;
- 2D senzor schopný sledovat kalibrační profil;
- 15 - alespoň dvě zrcadla uvnitř optického rezonátoru, přičemž alespoň jedno zrcadlo je pohyblivé a/nebo sklopné; a kde
- 2D senzor je umístěn tak, že může přijímat kalibrační profil z čelního povrchu aktivního prostředí;
- a dále obsahuje výpočetní jednotku schopnou vypočítat procesní profil na základě rozdílu
- 20 mezi kalibračním profilem a reálným profilem.

V okamžiku čerpání aktivní prostředí, aktivní prostředí emituje světlo na 2D senzor. Vyzařované světlo vytváří tzv. kalibrační profil. 2D senzor musí být schopný přijímat kalibrační profil a tudíž 2D senzor tak musí být umístěn tak, aby bylo umožněno přímé sledování kalibračního profilu vyzařovaného z aktivního prostředí.

Podle jednoho výhodného provedení je 2D senzor umístěn před zářícím aktivním prostředím uvnitř dutiny, výhodněji je 2D senzor umístěn mezi zrcátky laserového optického rezonátoru v takové poloze, kde úhel mezi 2D senzorem a svazkem, výhodně obou svazků je téměř nula.

30 Výpočetní jednotka zpracovává informace přijaté před a po seedingu optického rezonátoru, to znamená, že je schopna zpracovat jak kalibrační, tak reálný profil, a tak vypočítat procesní profil. Procesní profil slouží k výpočtu těžiště podle metody (metod) dle vynálezu.

35 Dále systém může nastavit pohyblivé nebo sklopné zrcátko tak, aby byl svazek seedingu správně polohován a tím stabilizován.

#### 40 Objasnění výkresů

Obr. 1 znázorňuje algoritmus způsobu měření stability svazku podle nároku 1 a příkladu 1.

Obr. 2 schematicky znázorňuje profily získané 2D senzorem na aktivním prostředí. Z levé strany to jsou: kalibrační profil; reálný profil včetně čerpání inverzních stavů; a procesní profil

45 zahrnující polohu těžiště a osy procesního profilu.

Obr. 3 znázorňuje jedno provedení systému využívající způsob aktivní stabilizace svazku v oblasti optického rezonátoru. Systém využívá způsob odpovídající provedení podle příkladů 5 a 10. Konkrétně se jedná o systém 230 mJ regeneračního zesilovače s tenkým diskem (příklad 10), který je stabilizován podle způsobu uvedeného v příkladu 5.

Obr. 4 znázorňuje další provedení systému využívajícího způsob aktivní stabilizace svazku uvnitř optického rezonátoru. Konkrétně se jedná o systém provedení zesilovacích hlavic s dvěma tenkými disky o výkonu zesilovače 100 mJ.

Obr. 5 znázorňuje axiomatický pohled na výhodné provedení podle příkladu 10, kde je CCD kamera umístěna v jedné rovině vzhledem k zrcadlům.

5 Obr. 6 demonstruje krátkodobou stabilitu s aktivní stabilizací podle vynálezu a bez aktivní stabilizace pro tenkostěnný regenerační zesilovač podle příkladu 5. Výkon je měřen v závislosti na čase. Pro demonstraci stabilizace je laserový systém po dobu asi 3,5 min uzamknut v módu stabilizace podle vynálezu s relativní stabilitou 0,9 %. Po vypnutí stabilizačního způsobu podle vynálezu se stabilita výrazně snižuje na 6 %. Kromě toho, laser začíná ztrácet výkon bez polohové stabilizace.

10 Obr. 7 znázorňuje dlouhodobý výkon výhodného provedení podle příkladů 5 a 10. Subplot *a* se týká stabilizovaného optického rezonátoru, subplot *b* se týká nestabilizovaného optického rezonátoru. Rychlý pokles výkonu ukazuje na vyřazení stabilizace a opětovné zapnutí. Ostré hrany energie označují zabezpečení výkonu manuálním přenastavením "ruční přenastavení"  
15 polohy svazku optického rezonátoru.

### Příklady uskutečnění vynálezu

20 Vztahové značky jsou napříč uvedeny na následujících obrázcích a příkladech.

Příklad 1 se týká výhodného provedení způsobu měření polohy svazku.

25 Podle jednoho provedení vynálezu je jako aktivní prostředí pro zesílení laserového svazku 11 zvolen tenký disk 7 230 mJ regeneračního zesilovače, který vykazuje fluorescenci excitovaných iontů. 230 mJ regenerační zesilovač je přímo čerpán diodami.

30 Podle dalšího provedení vynálezu může být jako aktivní prostředí pro zesílení laserového svazku 11 zvolen tenký disk 7 100 mJ regeneračního zesilovače vykazující fluorescenci excitovaných iontů. Disk 7 100 mJ regeneračního zesilovače je čerpán optickým vláknem 12.

V obou případech excitované ionty emitují fluorescenční světlo do CCD kamery 8 a tak vytvářejí fluorescenční kalibrační profil 1 na disku 7.

35 CCD kamera 8 sleduje kalibrační profil 1 bez seedingu optického rezonátoru.

V dalším kroku dochází k seedingu optického rezonátoru světlem emitovaným z tenkého disku 7 aktivního prostředí regeneračního zesilovače.

40 Po seedingu optického rezonátoru je zóna 2, tj. místo kde optický rezonátor extrahuje energii z aktivního prostředí tenkého disku 7, viditelná jako čerpání inverzní stavů, tzv. čerpací zóna 2. Sledování zóny 2 čerpání je zajištěno stejnou CCD kamerou 8 jakou byl dříve získán kalibrační profil 1.

45 Na druhou stranu je třeba poznamenat, že lze použít více CCD kamer 8.

50 Zóna 2 čerpání, monitorovaná CCD kamerou 8, tvoří tzv. reálný profil 3. Reálný profil 3 zahrnuje zónu 2 čerpání, která je umístěna uprostřed tenkého disku 7 aktivního prostředí zesilovače.

Na druhou stranu podle jiného provedení může být oblast čerpání a její profil elipsoidní, čtvercový nebo dokonce asymetrický.

Nezávisle na tvaru zóny 2 čerpání se v dalším kroku získá procesní profil 4 na základě rozdílu mezi kalibračním profilem 1 a skutečným profilem 3.

5 Poloha těžiště 6, která je charakterizována středovou osou 5, se vypočítá na základě procesního profilu 4.

10 Je třeba konstatovat, že podle dalšího provedení způsobu měření stability svazku 11 může aktivní prostředí vykazující fluorescenci představovat diodově čerpaný laserový slab nebo diodově čerpanou laserovou tyč nebo elektricky čerpaný vlnovod z ZnO nebo germaniový polovodič typu n.

Příklad 2 se týká ukládání kalibračního profilu do paměti výpočetní jednotky.

15 Podle jednoho provedení způsobu měření polohování svazku 11 může být aktivní prostředí tenkého disku 7, které vykazuje luminiscenci, čerpáno alespoň jedním optickým vláknem 12 nebo přímo čerpáno přes diodu. Aktivní prostředí 7 vyzařuje světlo směrem do CCD kamery 8. CCD kamera 8 přenáší signál 13 do úložiště, s výhodou do real-time serveru nebo PC 14, přičemž kalibrační profil 1 (kalibrační profil podle příkladu 1) je uložen v paměti PC 14.

20

Příklad 3 se týká procesního profilu získaného na základě uloženého kalibračního profilu bez seedingu a průběžně sledovaného reálného profilu.

25 Podle tohoto provedení způsobu měření polohy svazku 11 slouží kalibrační profil 1, uložený v úložišti podle příkladu 2, jako kalibrační obraz. Po seedingu optického rezonátoru je aktivní prostředí tenkého disku 7 dále monitorováno CCD kamerou 8. Průběžně se monitoruje reálný profil 3. A následně se procesní profil 4 získá na základě rozdílu mezi kalibračním obrazem a průběžně sledovaným reálným profilem 3.

30

Příklad 4 se týká získání kalibračního profilu při sníženém výkonu čerpacího zdroje.

35 Podle tohoto provedení způsobu měření polohy svazku 11 se kalibrační profil 1 získá na základě čerpání aktivního prostředí alespoň jedním optickým vláknem 12 mající výkon 100 W. Kalibrační profil 1 je získán a s výhodou uložen ve výpočetní jednotce podle příkladu 3. Při seedingu optického rezonátoru je výkon alespoň jednoho optického vlákna 12 zvýšen na 230 W.

40 Příklad 5 se týká způsobu aktivní stabilizace polohování svazku.

Měření stability polohy svazku v optickém rezonátoru podle příkladu provedení 1 bylo implementováno a testováno na dvou laserových systémech znázorněných na obr. 3 a obr. 4. Oba laserové systémy dále využívají technologii regeneračního zesilovače tenkých disků 7 tak, aby svazek 11 byl aktivně stabilizovaný uvnitř optického rezonátoru. Laserový systém zobrazený na obr. 3 obsahuje tenký disk 7 aktivního prostředí 230 mJ regeneračního zesilovače. Laserový systém zobrazený na obr. 4 obsahuje dva disky 7 aktivního prostředí 100 mJ regeneračních zesilovačů.

50 Navzdory různým nastavením byla implementace aktivní stabilizace polohování svazku 11 podle vynálezu do obou systémů úspěšná.

Způsob monitorování polohy svazku 11 byl proveden v obou systémech tak, jak je uvedeno v příkladu 1. Poloha svazku 11 na tenkém disku 7 aktivního prostředí byla následně stabilizována s využitím jednoho piezoelektricky ovládaného zrcadla 10. V systému s dvěma tenkými disky byla

55



poloha ovládaných zrcadel 10 zvolena tak, aby kompenzovala mechanické posuvy v optickém rezonátoru.

5 Výkonnost stabilizace optického rezonátoru se projevuje ve srovnání způsobu stabilizace podle vynálezu a způsobu stabilizace podle současného stavu techniky. Krátkodobá a dlouhodobá stabilita výkonu, prováděná podle způsobu aktivní stabilizace svazku 11 dle vynálezu, je zobrazena na obr. 6 a obr. 7.

10 Jak dlouhodobá, tak i krátkodobá stabilizace laserového svazku 11 byla zvýšena díky způsobu aktivní stabilizace podle vynálezu. Krátkodobé měření je znázorněno na obr. 6. Konkrétně, doba do 3,5 min zobrazuje stabilizaci podle vynálezu s rms 0,9 %. Na druhou stranu, okamžitě po zastavení sledování reálného profilu 3 na aktivním prostředí se nestabilita zvyšuje až o 6 %, jak je znázorněno na pravé straně obr. (přibližně od 3,5 min do 8 minut).

15 Mimo jiné, laserové systémy, které použijí aktivní stabilizační způsob podle vynálezu popsanou v provedení podle příkladu 5, se stabilizují také pro průměrný výkon získaný z aktivního prostředí 7.

20 Stabilizovaný průměrný výkon laseru je zřejmý při dlouhodobém měření a stabilizaci.

Obr. 7 znázorňuje dlouhodobou stabilizaci výkonu podle způsobu vynálezu. Na začátku byl systém ručně zarovnan tak, aby se dosáhlo nízkého stupně zesílení. Jakmile je detekována stabilizace svazku signálem z výpočetní jednotky založené na správné poloze svazku 11, zarovná se optický rezonátor ke středu disku 7 a dosáhne tak plného zesílení. Žádná další ruční stabilizace nebo interakce s laserovým systémem již není nutná pro další provoz během dne.

30 Na druhou stranu, způsob bez stabilizace podle vynálezu, vyžadoval více ručních přenastavování tak, aby se laser udržel v chodu během termalizace, která odpovídala zhruba 1,5 hodině. Přenastavení je viditelné na obr. 7a a 7b a je indikováno sníženým výkonem.

Pokud jde o provedení bez aktivní stabilizace podle vynálezu, po zahřátí laserového systému zůstávají znatelné posuvy, které mohou být spojeny se změnami teploty v laboratoři. V důsledku aktivní stabilizace podle vynálezu, všechny posuvy jsou kontinuálně kompenzovány a tudíž není nutné čekat, až systém dosáhne bodu termalizace, čímž je systém k dispozici pro stabilní a plný provoz za méně než 5 minut.

Příklad 6 se týká výpočtu polohy těžiště.

40 Podle výhodného provedení tohoto vynálezu je těžiště definováno jako střední hodnota anebo první moment hustoty výkonu laserového svazku 11. Těžiště je popsáno pomocí následujících rovnic:

$$\bar{x}'_i = \frac{\iint x' E(x', y') dx' dy'}{\iint E(x', y') dx' dy'}$$

$$\bar{y}'_i = \frac{\iint y' E(x', y') dx' dy'}{\iint E(x', y') dx' dy'}$$

45 kde  $x'$  a  $y'$  představují souřadnice a  $E(x', y')$  představuje funkci distribuce hustoty výkonu získanou z procesního profilu 4.

Podle výhodného provedení podle příkladu 1,  $x'$  a  $y'$  odpovídají souřadnicím pixelů v CCD kameře 8. Data jsou získána z kalibračního a reálného profilu 1 a 3, které odpovídají hodnotám intenzity v každém jednom pixelu CCD kamery 8. Dále mohou být data dále zpracovávána výpočtovou jednotkou 14 a mohou být použity pro opětovné vyrovnaní laserového paprsku 11.

5

Příklad 7 se týká výpočtu polohy středu pomocí 4 bodů.

V jednom provedení má kamera 8 jen 4 pixely a detekuje profily podle příkladu 1 nebo 5.

10

Sledované profily 1 a 3 se dále vypočítají podle příkladu 6 a mohou sloužit k opětovnému nastavení laserového paprsku 11.

15

Příklad 8 se týká forem aktivního prostředí.

Podle tohoto příkladu byl tenký disk 7 aktivního prostředí regeneračního zesilovače nahrazen tenkou deskou. Laserová deska byla také opticky čerpána a byl použit způsob podle příkladu 1 a příkladu 5.

20

Podle dalšího výhodného provedení je aktivním prostředím použitým ve stejném smyslu jako aktivní prostředí podle příkladu 1 nebo 5 elektricky čerpané nanočástice ZnO. Zářící strana ZnO je směřována do CCD kamery 8, aby kamera 8 byla schopna monitorovat profily 1 a 3.

25

Příklad 9 se týká použití procesního profilu.

Podle jednoho provedení vynálezu se reálný profil 3 použije pro sledování polohy tenkého disku 7 aktivního prostředí. Tento způsob byl aplikován na disk 7 aktivního prostředí, který sloužil jako polohově citlivé zařízení pro měření odchylek laserového svazku.

30

Podle dalšího výhodného provedení může být reálný profil 3 použit k určení těžiště svazku za účelem výpočtu M2 parametru, zejména k určení druhého momentu poloměru svazku.

35

Podle dalšího provedení předloženého vynálezu může být procesní profil 4 použit pro zarovnání krystalů používaných pro zdvojnásobení kmitočtu, zejména pak pro způsob laserem řízené jaderné fúze nebo pro generování druhých harmonických vln.

40

V dalším provedení může být tento vynález použit jako způsob pro zarovnávání čoček s laserovými diodami za účelem kolimace laserového paprsku.

Příklad 10 se týká systému aktivní stabilizace polohování svazku.

45

Podle jednoho provedení vynálezu obsahuje systém tenký disk 7 aktivního regeneračního zesilovače. Tenký disk 7 aktivního prostředí je opticky čerpán pomocí laserových diod. Excitované ionty v aktivním prostředí vyzařují fluorescenční světlo do CCD kamery 8 umístěné před tenkým diskem 7 aktivního prostředí.

50

Systém dále obsahuje alespoň dvě zrcadla 9 a 10, které společně s diskem 7 aktivního prostředí tvoří optický rezonátor. Jedno zrcadlo 10 je motorizováno, například ovládáno piezo-elektrickým prostředky, a tak se stává pohyblivým zrcadlem 10, které může být použito pro polohování laserového svazku 11. Konkrétně je poloha laserového svazku 11 stabilizována na disku 7 aktivního prostředí.

55

Poloha CCD kamery 8 je umístěna v rovině vzhledem k zrcadlům 9, 10 a disku 7 aktivního prostředí. Dále je CCD kamera 8 umístěna na druhé straně vůči disku 7 aktivního média.

Po seedingu optického rezonátoru sleduje stejná CCD kamera 8 disk 7 aktivního média, který vykazuje reálný profil 3.

Monitorované profily 1 a 3 získané z CCD kamery 8 jsou dále zpracovávány počítačem 14, kde je vypočítána poloha těžiště 6. Na základě výpočtu polohy těžiště 6, aktivní systém obsahující zpětnovazební smyčku, prostředek 13 pro přenos signálu z CCD kamery do počítače a prostředek 15 pro přenos signálu z počítače na peizo-elektrické zrcadlo 10, nastaví polohu zrcadla do požadované polohy.

Systém podle provedení, který je popsán v příkladu 10, se stává extrémně účinným z hlediska dlouhodobé i krátkodobé stabilizace.

15

### Průmyslová využitelnost

Předkládaný vynález je využitelný všude, kde je zapotřebí aktivní stabilizace polohování optického svazku nebo měření polohové stability optického svazku, zejména pak v oblasti vysoce výkonových laserových systémů nebo laserových systémů s vysokým středním výkonem. Vynález je využitelný v oblasti vědeckých nebo průmyslových laserových systémech, zejména obrábění, zpracování a/nebo řezání jakéhokoliv materiálu, v ultrazvukových laserových systémech, snímačích, ve vojenských aplikacích, fotografování a/nebo televizních přístrojích.

25

## PATENTOVÉ NÁROKY

30

1. Způsob měření stability polohy svazku (11) v oblasti optického rezonátoru obsahující kroky:

- a. čerpání aktivního prostředí (7), přičemž aktivní prostředí (7) emituje světlo na 2D senzor (8);
- b. monitorování prostorového rozložení excitovaných iontů v zářícím aktivním prostředí, přičemž se snímá kalibrační profil (1) z jeho čelního povrchu, a přičemž je seeding optického rezonátoru neaktivní;  
**vyznačující se tím**, že metoda dále obsahuje kroky:
- c. seeding optického rezonátoru;
- d. monitorování reálného profilu (3) vyprázdněných inverzních stavů na aktivním prostředí (7) pomocí 2D senzoru (8);
- e. získání procesního profilu (4) založeného na rozdílu mezi kalibračním profilem (1) a reálným profilem (3);
- f. výpočet těžiště (6) z procesního profilu (4).

45

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že metoda dále obsahuje krok uložení kalibračního profilu (1) do paměti výpočetní jednotky (14).

50

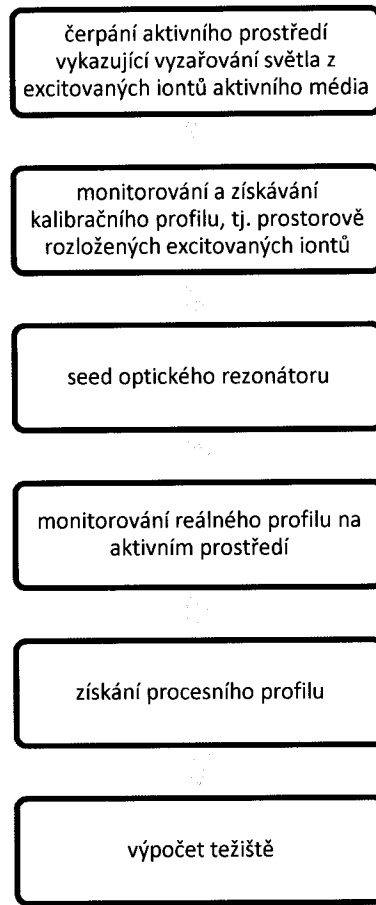
3. Způsob podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že procesní profil (4) se získá z rozdílu založeného na výpočetní jednotkou (14) uloženém kalibračním profilem (1) a průběžně monitorovaném reálném profilem (4).

4. Způsob podle jakéhokoliv předcházejícího nároku, **vyznačující se tím**, že kalibrační profil (1) se získá při redukováném čerpacím výkonu.

55

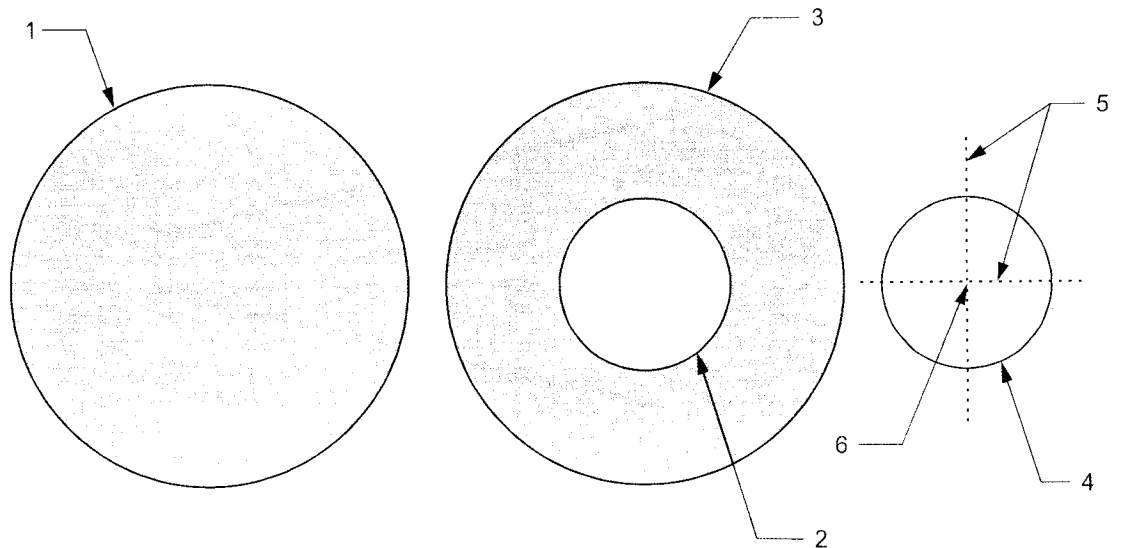
5. Stabilizace polohování svazku (11) v oblasti optického rezonátoru obsahující kroky:
- a. čerpání aktivního prostředí (7), přičemž aktivní prostředí (7) emituje světlo na 2D senzor (8);
  - b. monitorování prostorového rozložení excitovaných iontů v zářícím aktivním prostředí, přičemž se snímá kalibrační profil (1) z jeho čelního povrchu, a přičemž je seeding optického rezonátoru neaktivní;  
**vyznačující se tím**, že metoda dále obsahuje kroky:
  - c. seeding optického rezonátoru;
  - d. monitorování reálného profilu (3) vyprázdněných inverzních stavů na aktivním prostředí (7) pomocí detekčního prostředku (8);
  - e. získání procesního profilu (4) založeného na rozdílu mezi kalibračním profilem (1) a reálným profilem (3);
  - f. výpočet těžiště (6) z procesního profilu (4); a
  - g. úpravu polohy svazku (11) podle pozice těžiště (6).
6. Způsob podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že úprava polohy svazku (11) je řízena alespoň jednou výpočetní jednotkou (14), přičemž výpočetní jednotka (14) počítá polohu těžiště (6).
7. Způsob podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že k výpočtu polohy těžiště se použijí alespoň čtyři body.
8. Způsob podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že metoda se použije na laserovém disku aktivního prostředí (7), výhodně na laserovém slabou nebo tenkém disku laserového aktivního prostředí.
9. Použití procesního profilu (4) pro sledování polohy aktivního prostředí a/nebo k aktivní stabilizaci svazku (11).
10. Systém pro aktivní stabilizaci polohování svazku (11) v oblasti optického rezonátoru obsahující:
- aktivní prostředí (7);
  - 2D senzor (8) schopný monitorování záření z čelního povrchu aktivního prostředí (7);
  - alespoň dvě zrcadla (9 a 10) uvnitř optického rezonátoru,  
**vyznačující se tím**, že
  - alespoň jedno zrcadlo (10) je pohyblivé a/nebo sklopné;
  - 2D senzor (8) je umístěn naproti aktivnímu prostředí (7) uvnitř optického rezonátoru, kde monitoruje kalibrační a reálný profil (1 a 3); a kde systém dále obsahuje
  - výpočetní jednotku, která je připojena k detekčnímu prostředku (8) a alespoň jednomu pohyblivému a/nebo sklopnému zrcadlu (10).

4 výkresy



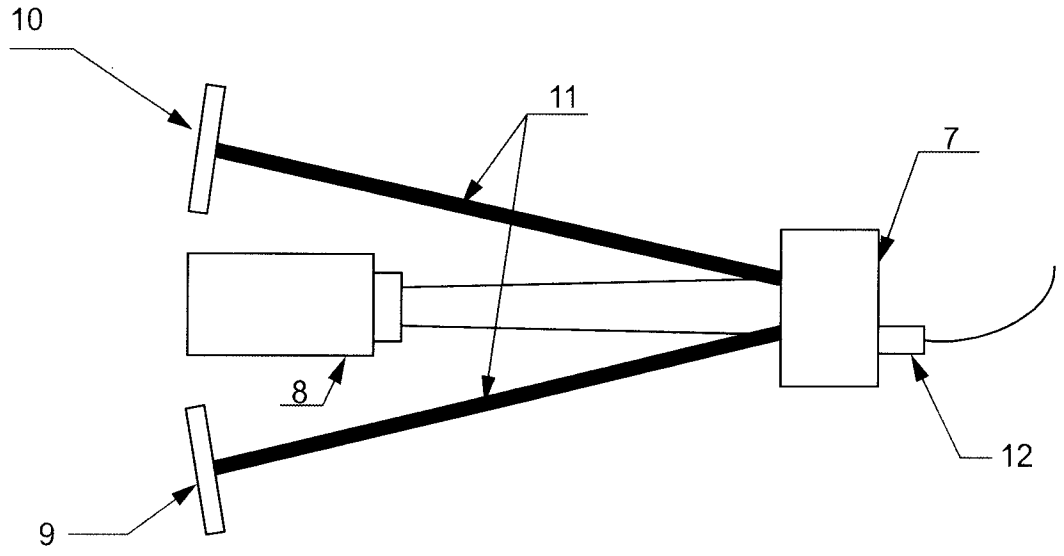
Obr. 1

5



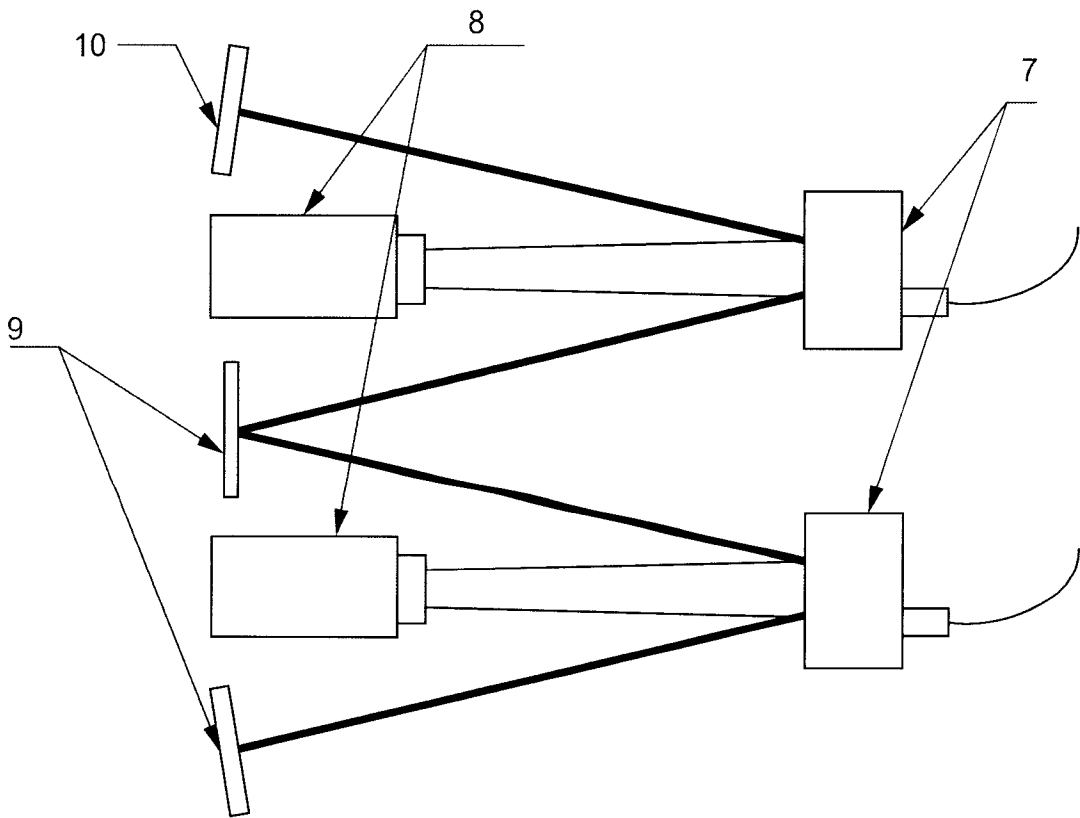
Obr. 2

10



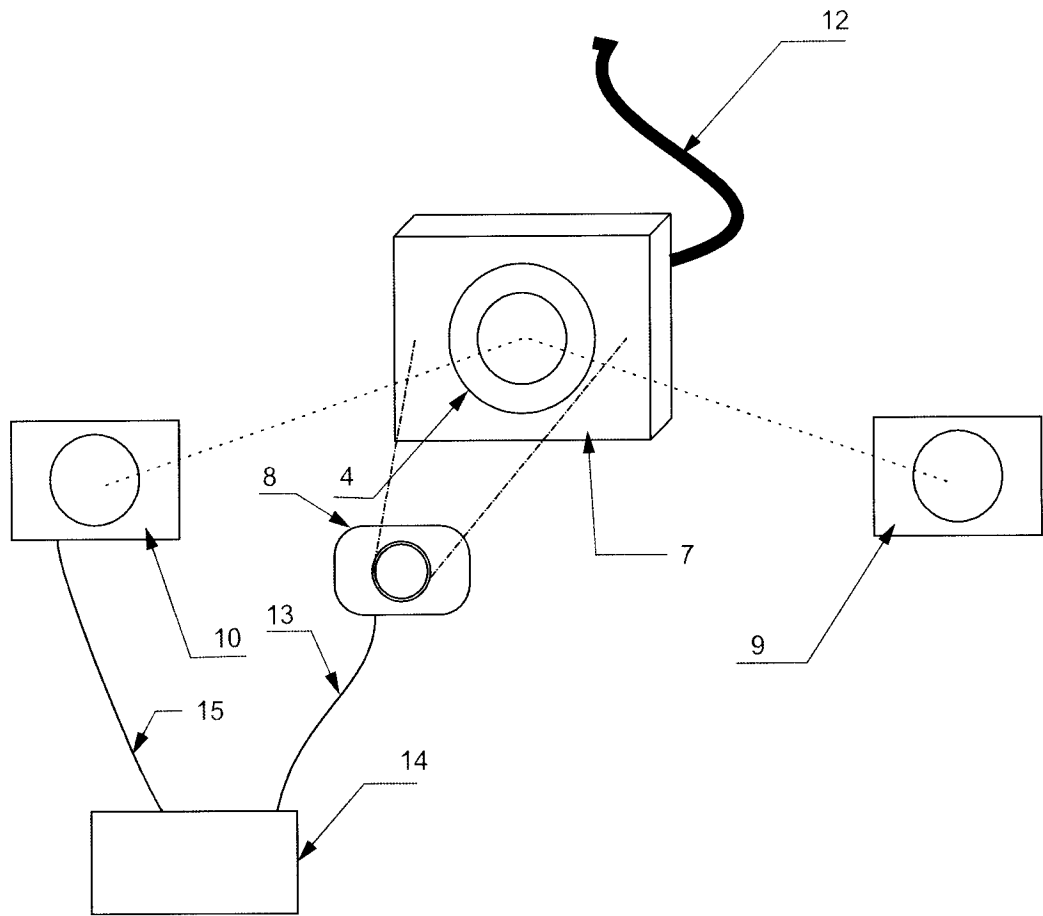
Obr. 3

5

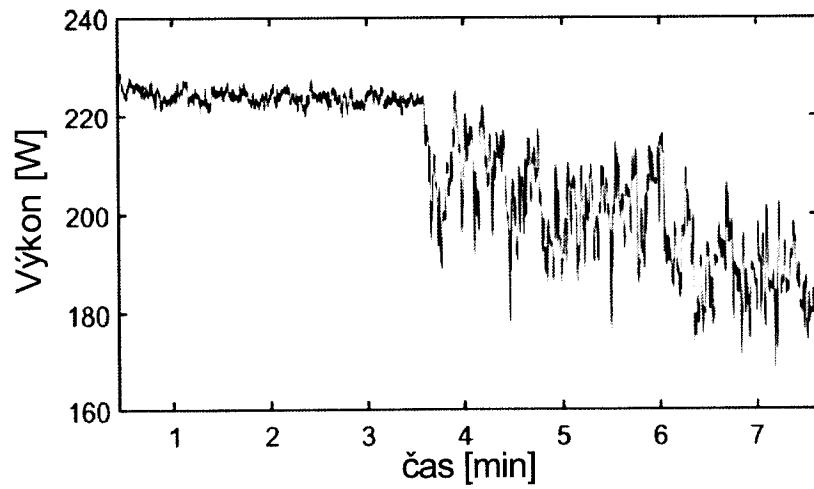


Obr. 4

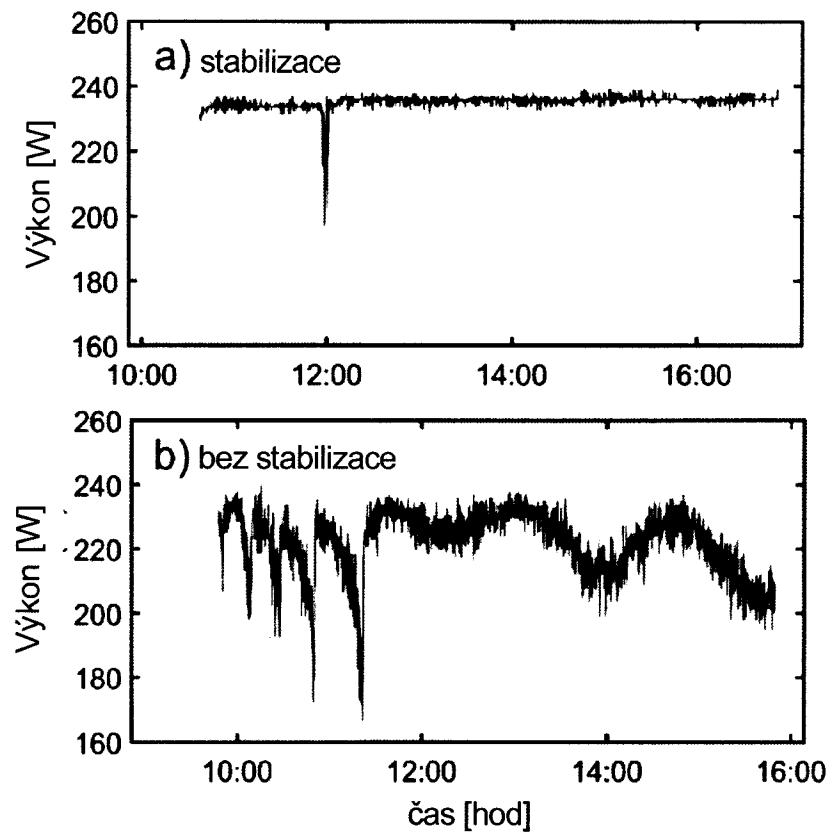
10



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7

---

Konec dokumentu

---